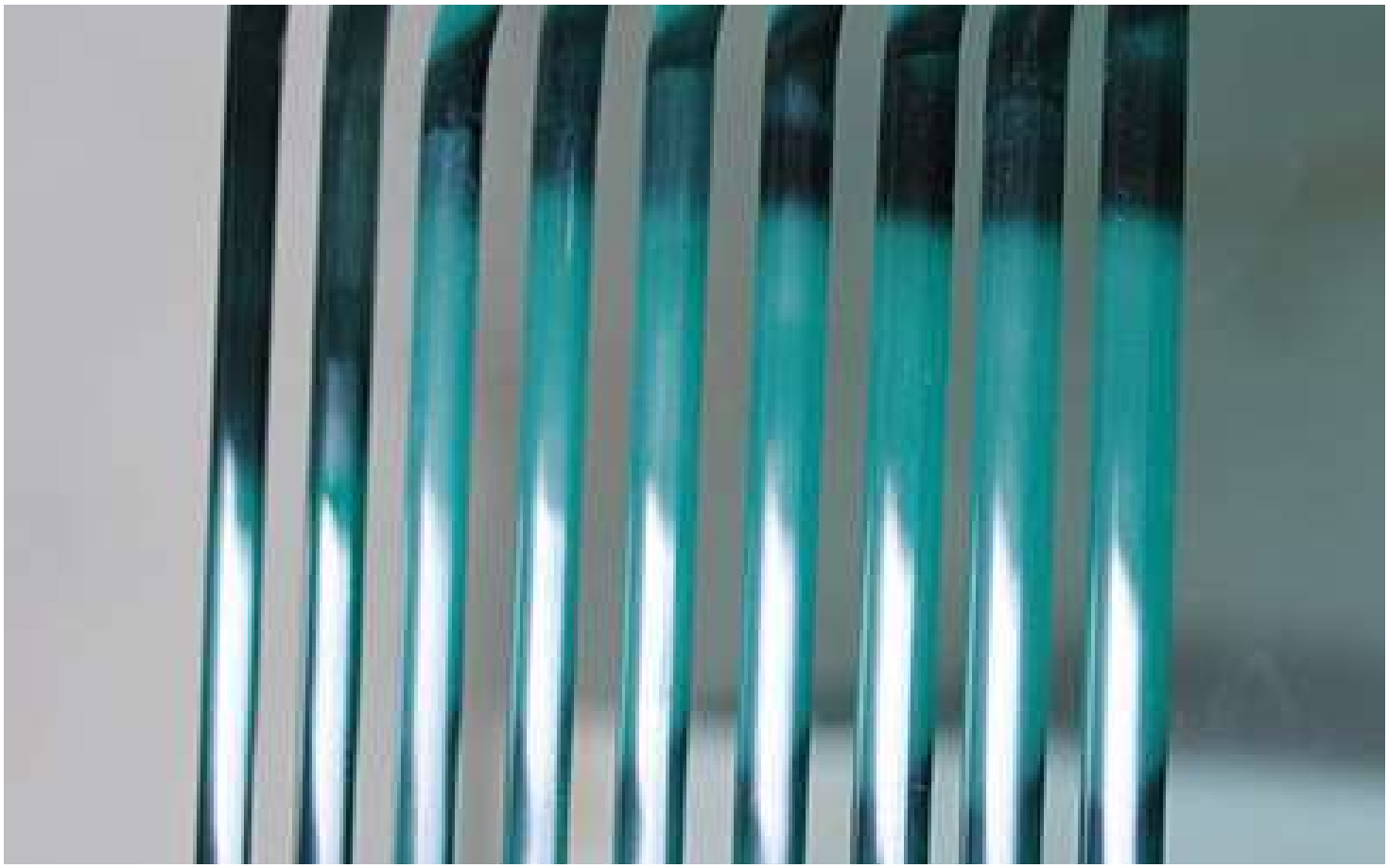


OSOBINE KALJENOG STAKLA

TOPLOTNA OBRADA

Osobine kaljenog stakla

Kaljeno staklo ima povećanu mehaničku i termičku izdržljivost, te karakterističan način loma i pucanja na sitne i najčešće neoštre komadiće, zbog čega se smatra sigurnosnim.

Povećana mehanička i termička izdržljivost kaljenog stakla je rezultat nastalih termičkih naprezanja tokom procesa kaljenja.

U preseku stakla, pri simetričnom i jednakom hlađenju dolazi do raspodele napetosti na način da je spoljni sloj izložen pritisku, a unutrašnji naprezanju. Pritisak na površini kaljenog stakla omogućuje znatno veću čvrstoću za savijanje, nego kod opuštenog stakla zbog kompenzacije naprezanja i smanjenja rezultante lokalnog naprezanja. Srednje naprezanje koje uništava kaljeno staklo, nekoliko puta je veće nego kod običnog stakla. Kod kaljenog stakla smanjuje se i statički zamor.

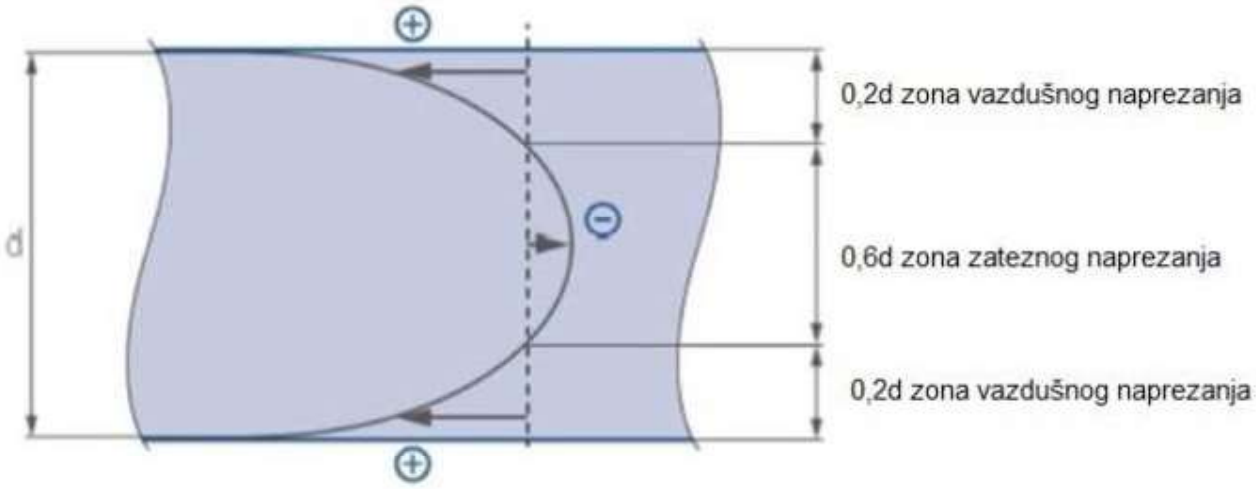
Ravnotežom naprezanja kaljeno staklo postiže veću otpornost na lom koja inače ograničava izdržljivost stakla. Nakon kaljenja, površinski defekti ne mogu se širiti u spoljnom sloju stakla koji je izložen pritisku. Pri prekoračenju granice mehaničke izdržljivosti dolazi do loma kaljenog stakla na sitne i neoštre deliće. Struktura loma stvara mrežu pukotina.

Toplotno obrađeno kaljeno staklo ima široku primenu u građevinarstvu, proizvodnji nameštaja, bele tehnike (rerne), autoindustriji, železničkom, vazdušnom, brodskom i drugom prevozu, te u drugim područjima.

Postupkom kaljenja možemo tretirati transparentno float staklo, bojeno u masi, staklo s “tvrdim” premazima i neke vrste stakla s “mekanim” (proizvođač stakla treba razmotriti da li je moguće u konkretnom slučaju), ravno vučeno staklo i valjano staklo.

Pored toga treba uzeti u obzir o dodatne pojave koje se javljaju u kaljenom staklu nakon toplotne obrade. Ove pojave ne smatraju se proizvodnom greškom, a to su:

- **dugine boje na površini stakla** – anizotropija nastala zbog specifičnog polja naprezanja prilikom kaljenja (Crtež ispod), izaziva dvostruki ogib svetlosti vidljiv u polaritovanom svetlu – polja naprezanja su vidljiva u bojama, zovemo ih “polja polarizacije” ili “leopardove tačkice” i možemo ih uočiti i na dnevnom svetlu pod malim uglom (ova pojava se dobro vidi na kaljenim staklima automobila)
- **“talasi od valjaka”** (“RolerWaves”) – deformacije površine koje nastaju prilikom zagrevanja stakla u vodoravnoj peći kod dodira vrućeg stakla (temperatura blizu omekšavanja) i valjaka u peći kada nastaju deformacije vidljive u reflektirajućem svetlu. Kod naručivanja stakla za fasade zgrada naručilac treba voditi računa o pojavi “RolerWaves” i odrediti pravac stavljanja stakala u peć za kaljenje (usmereno kaljenje)
- **“odraz valjaka”** – na staklu debljine iznad 8mm kao i na tanjem ali većih gabarita mogu se pojaviti otisci valjaka (“odraz valjaka”)



Raspored naprezanja u tretiranom staklu u postupku kaljenja

(d – zadana debljina stakla)

Zahtevi kod procesa toplotne obrade

Kako bi se moglo tretirati kaljenjem neophodna je minimalna obrada ivica:

1. zatupljivanjem ivice kod stakla maksimalne debljine od 8 mm,
2. brušenje ivice kod stakla debljine ≥ 10 mm

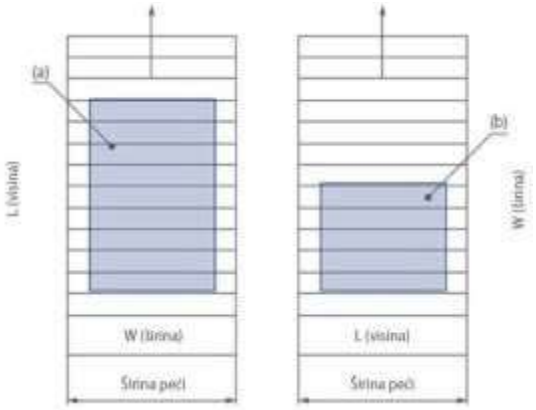
Zadovoljavanje navedenih uslova je neophodno jer prilikom postupka kaljenja dolazi do stvaranja u stakla značajnih naprezanja čija koncentracija je na ivicama. Napravilno pripremljene ivice stakla mogu prouzrokovati lom staklene ploče.

Identično kao i sve postupke obrade ivica, bušenja otvora, pravljenje izreza i glodanje treba obaviti pre kaljenja stakla. Uvek voditi računa da rupe i izrezi u staklu stvaraju veći rizik loma tokom kaljenja. Zahtevi po pitanju dimenzija i rasporeda otvora u staklu koje se priprema za kaljenje su propisani standardom. Minimalni poluprečnik izreza i glodanje treba biti veći ili jednak debljini stakla i ne može iznositi manje od 6 mm.

Kaljenje

Postupak kaljenja prema standardu EN12150 sprovodi se u vodoravnim oscilacijskim pećima. Stakla se zagreva blizu temperature omekšavanja da postigne odgovarajuću temperaturu i viskoznost. Nakon toga se na staklenu ploču usmerava mlaz hladnog vazduha za brzo hlađenje stakla. U staklu dolazi do stvaranja naprezanja. Kod izbora toplotne obrade takvog tipa treba uzeti u obzir moguće pojavljivanje nepravilnosti. Zato je potrebno odrediti smer kaljenja – daljina lista paralelno ili ispravno u odnosu na valjke u peći za kaljenje. Crtež ispod prikazuje primer položaja staklene ploče. Ne može se sprovesti usmereno kaljenje stakla čija je dimenzija W ili L veća od širine peći. U takvom slučaju staklena ploča se stavlja u peć u drugom pravcu od ostalih iz narudžbine, bez naknadnog

dogovaranja sa naručiocem koji kod usmerenog kaljenja inače obavezan u narudžbini odrediti smer postavljanja listova u peć. Ukoliko to ne učini, kaljenje će se sprovesti bez pridržavanja pravca.



Položaj lista stakla na transportnom stolu uz peć za kaljenje

Vrsta stakla	Debljina stakla	Max. Dimezije lista stakla (W x L) (mm)	Min. Dimezije lista stakla (W x L) (mm)
Float	4	1500 x 2400	100 x 180
	5	1570 x 3570	100 x 180
	6 - 19	1570 x 3570	100 x 180

Proizvodni kapacitet linije za kaljenje

Delimično kaljena stakla

Delimično kaljena stakla prema standardu EN1863 isto su podvrgnuta toplotnoj obradi čija je svrha povećanje mehaničke i toplotne otpornosti stakla. Razlika između kaljenog i delimično kaljenog stakla je pre svega u drugoj strukturi loma i manjoj otpornosti stakla.

Treba istaknuti da delimično kaljeno staklo nije sigurnosno staklo. U slučaju loma delimično natrij-kalcij-silikatno staklo puca na način koji je sličan pucanju opuštenog stakla.

Specifičan postupak delimičnog kaljenja onemogućava dobijanje proizvoda koji bi bio ravan kao opušteno staklo.

Vrednosti mehaničke izdržljivosti stakla prema:

EN 12150-1; EN 14179-1; EN 1863-1

Vrsta toplotne obrade	Vrednosti mehaničke izdržljivosti (N/mm2)	
Vrsta stakla	Kaljeno s toplotnim ispitivanjem	Delomično kaljeno
Monolitno: bezbojno,bojeno, presvučeno	120	70
Emajlirano	75	45
Ornamentno staklo i ravno vučeno staklo	90	55

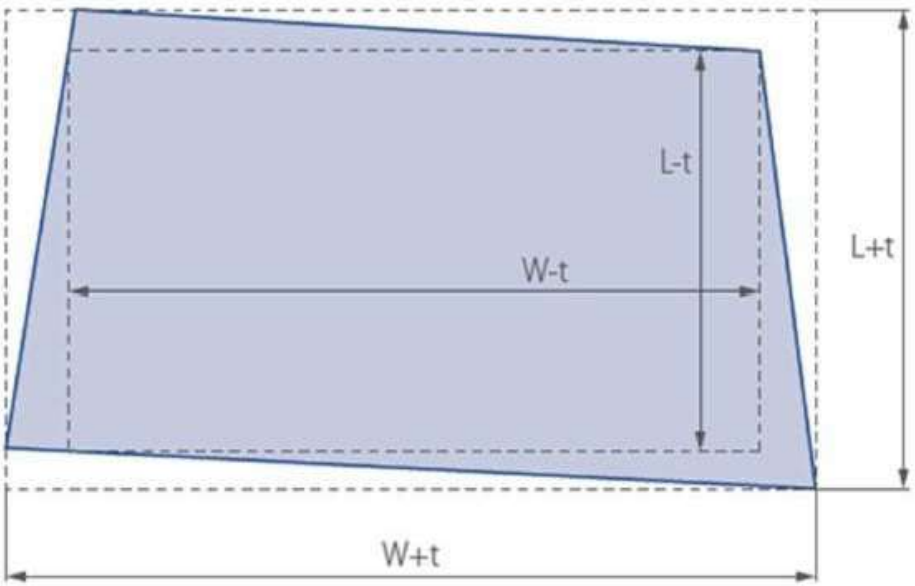
ZAHTEVI I TESTIRANJE TERMIČKI TRETIRANOG STAKLA

Dimenzije i tolerancije za ravna kaljena stakla

Dimenzije kaljenih stakala su predodređene tehnološkim mogućnostima uređaja za uvodnu obradu i mogućnostima peći za kaljenje. vrednosti zadanih debljina stakla i tolerancija za svaku debljinu koje su propisane standardom EN 12150-1 navedeno je u Tablici ispod.

Zadana debljina d (mm)	Tolerancije debljine za različite vrste stakla (mm)		
	Ravno vučeno staklo	Ornamentno staklo	Float staklo
	± 0,2	± 0,5	± 0,2
5	± 0,3	± 0,5	± 0,2
6	± 0,3	± 0,5	± 0,2
8	± 0,4	± 0,8	± 0,3
10	± 0,5	± 1,0	± 0,3
12	± 0,6	± 1,5	± 0,3
14	-	± 1,5	-
15	-	± 1,5	± 0,5
19	-	± 2,0	± 1,0

Tolerancije dimenzija stakla odgovaraju standardu EN 12150-1 za ravna kaljena stakla. Navode se tolerancije visine (L), širine (W) i pravouglosti. Crtež ispod prikazuje primer stakla i toleranciju pravouglosti.



Dimenzije i tolerancije staklene ploče

Dimenzije stakla [mm]	Tolerancija, t [mm]	
	Zadana debljina stakla d ≤ 12	Zadana debljina stakla d> 12
≤ 2000	± 2,5	± 3,0
2000< W III L ≤ 3000	± 3,0	± 4,0
> 3000	± 4,0	± 5,0

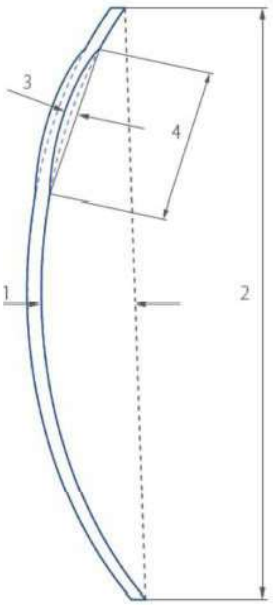
Vrednosti tolerancije širine (W) i visine (L) za ravna kaljena stakla prema EN 12150-1

Ispitivanje pravolinijnosti ravnih kaljenih stakala

Postupkom kaljenja nije moguće dobiti staklo čija bi pravolinijnost bila ista kao kod opuštenog stakla (nekaljenog). Odstupanje od pravolinijosti zavisi od debljine, dimenzijama i odnosu dimenzija strana stakla. Kod određenih tolerancija dopuštena je kompletna ili lokalna konveksnost. S ciljem ispitivanja konveknosti potrebno je merenje sprovoditi u skladu s EN 12150:

- kompletne konveksnosti – deformaciju treba izmeriti duž ivice stakla i duž dijagonala, kako bi dobili maksimalnu udaljenost između ravnog metalnog lenjira odnosno razvučene žice i konkavne površine stakla. Dobijena vrednost konveksnosti izražena u milimetrima deli se kroz daljinu ivice stakla ili dijagonale,
  izraženo u milimetrima (mm/mm) Rezultat se može izraziti u procentima.
- lokalne konveksnosti – treba izmeriti parametar 3 i 4 (Crtež ispod) , po dužinama od 300mm, na udaljenosti od ivice stakla koja iznosi 25mm duž bokova. Rezultat se izražava u mm/300

Gore navedena merenja se sprovode na staklu koje je postavljeno u uspravnom položaju, naslonjeno daljim bokom na dva nosiva bloka na mestu jedne četvrtine ivice.



Kompletna i lokalna konveksnost stakla

U slučaju kompletne konveksnosti postoji mogućnost kompenzacije i ispravka njene veličine pomoću okvira i lajsni za staklo. Tablica ispod sadrži vrednosti dopuštene kompletne i lokalne konveksnosti koja se pojavljuje u postupku horizontalnog kaljenja.

Vrsta stakla	Konveksnost prema EN 12150-1	
	Kompletna [mm/mm]	Lokalna [mm/300 mm]
Float staklo prema EN 572-2 (nepresvučeno)	0,003	0,5
Drugo	0,004	0,5

Dozvoljene vrednosti kompletne i lokalne konveksnosti prema EN 12150-1

TOPLOTNO ISPITIVANJE KALJENOG STAKLA PREMA EN 14179-1 (Heat Soak Test – HST)

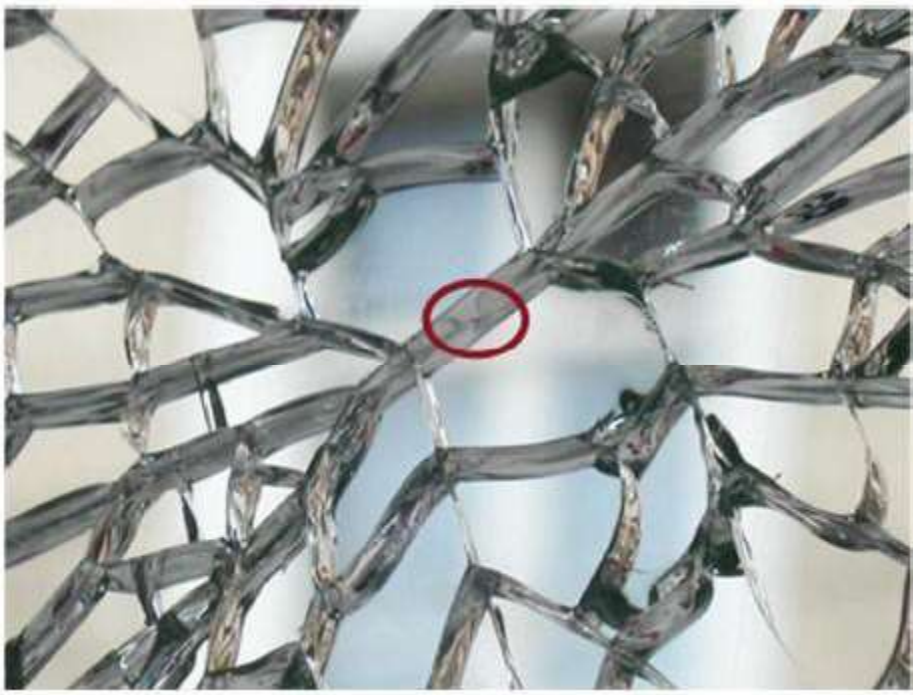
Metoda toplotnog ispitivanja kaljenog stakla (engl.Heat Soak Test) je eksperiment koji omogućuje testiranje stakla na prisutnost nikal sulfida (NiS). Tokom eksperimenta kaljeno staklo se polako greje do temperature cca 290© i izlaže istoj u propisanom standardnom vremenu koje je dovoljno da bi ukoliko staklo sadrži molekule NiS na 99% došlo do loma.

Vrlo male molekule Nikal Sulfida (NiS) mogu dospeti u staklenu masu u postupku proizvodnje float stakla. Zatim prilikom toplotne obrade stakla i kaljenja molekuli Nikal Sulfida menjaju svoju veličinu (dolazi do njihove polimorfijske promene). Kod naglog hlađenja nakon zagrevanja lista stakla prilikom kaljenja, čestica nikalsulfida kojoj treba više vremena da se vrati u svoju veličinu i nema ga dovoljno da se smanji (metafaza), stoga se u takvom stanju “zaledi” što u buduće može izazvati dodatna naprezanja u staklu. Mehanizam je sličan bombi sa odloženim aktiviranjem. Kod ugrađenog kaljenog stakla koje sadrži nikalsulfid pri zagrevanju površine npr. sunca, dolazi do širenja ovih molekula što stvara dodatna unutrašnja naprezanja. Ako se spomenuta čestica nalazi u staklu u zoni naprezanja postoji velika verovatnoća da će prouzrokovati spontani lom stakla nakon prekoračenja nivoa dozvoljenog naprezanja. Tablica ispod sadrži podatke o kapacitetu linije za ispitivanje HST. Vredi napomenuti da tokom toplotnog ispitivanja kaljenog stakla klasa sigurnosti i parametri izdržljivosti se ne pogoršavaju. Korist od provođenja HST testa je uverenje na granici sigurnosti da na ugrađenom staklu ne dođa do spontanog loma prouzrokovanog prisutnošću NiS čestice.

Debljina stakla (mm)	Max. Dimenzije lista stakla (W x L) (mm)	Min. Dimenzije lista stakla (W x L) (mm)	Maksimalna težina (kg)
4 – 19	2500 x 5000	1 ivica ≥ 400nm	900
	3000 x 6000		

Tehnološke mogućnosti sprovođenja HST testa

Staklo ispucalo zbog Nikal-sulfida prikazuje crtež ispod. Test se može sprovesti na staklima s mekanim premazom i na oblikovanim staklima.



Prikaz ispucalog stakla nakon spontanog loma prouzrokovanog Niklovim sulfidom

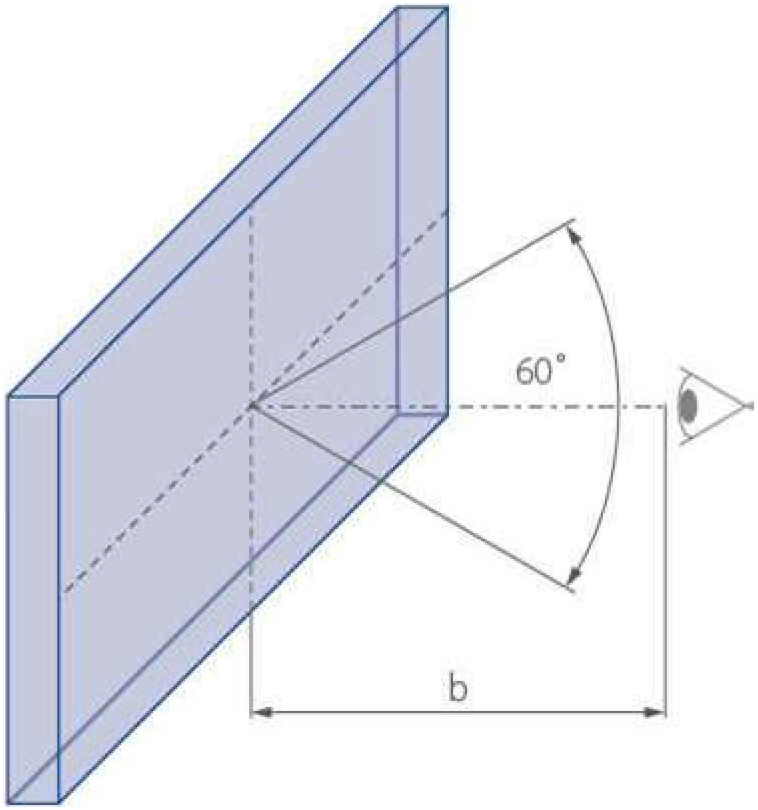
OZNAČAVANJE KALJENOG STAKLA, TOPLOTNO ISPITANOG KALJENOG STAKLA I DELIMIČNO KALJENOG STAKLA

Prema standardu EN 12150-1 tačka 10. i EN 14179-1 tačka 12. i EN 1863 kaljena i toplotno ispitana stakla moraju biti čitljivo i trajno obeležena. Oznake moraju sadržavati informacije o nazivu i logotipu proizvođača i broju standarda EN 12150-1, EN 14179-1 ili EN 1863.

Crtež br. 21. prikazuje primer pozicije izreza zajedno s najbitnijim dimenzijama. Ne sme se zaboraviti da ugao koji se nalazi unutar izreza treba zaobliti. Minimalni poluprečnik takvog zaobljivanja treba iznositi 6 mm.

Dozvoljeni nedostatci kaljenih stakala, kaljenih i toplinski prožetih stakala, polukaljenih stakala.

Ispitivanje kvaliteta izrađenih kaljenih, kaljenih s toplinskim prožimanjem i polukaljenih stakala provodi se vizualnim pregledom, bez pomoći alata, a pregled se obavlja na dnevnom svetlu uz matiranu crnu pozadinu ili uz usmjereno svjetlo koje prolazi kroz staklo i / ili uz reflektirajuće svetlo, ovisno o tipu upotrebljenog stakla i tehničkoj specifikaciji / standardu koji mu odgovara (vidi Literatura Tvorničkog Standarda).
Mane koje nisu vidljive s udaljenosti od 2m (ili 3m kod stakla s premazom) ne ubrajaju se u greške. Pregled kaljenih, kaljenih s toplinskim prožimanjem i polukaljenih stakala provodi se u skladu s Tablicom br.30.



Crtež br. 33. Tehnička šema kako provesti vizualni pregled stakla. Orijentacijska udaljenost „b" mesta na kojem se nalazi procjenitelj iznosi 3 m kod pregleda stakla s premazom i 2 m kod stakla bez premaza.

Tablica br. 30.

Specifikacija dopuštenih nepravilnosti kod kaljenih, kaljenih s toplinskim prožimanjem i polukaljenih stakala.

Rbr.	Nepravilnost	Površina stakla		
		< 1 m²	1 - 2 m²	>2 m²
1	Točka – primjesa stranog tijela	Nedozvoljeno	nedozvoljeno	Nedozvoljeno
2	Otvoreni mjehurići (koji pucaju)	nedozvoljeno	nedozvoljeno	Nedozvoljeno
3	Zatvoreni mjehurići (točke veličine do 0,5 mm ne uzimaju se u obzir)	dopušteno, 2 komada dimenzije max. 2 mm	dopušteno, 3 komada dimenzije max. 2 mm	dopušteno, 5 komada dimenzije max. 2 mm
4	Linearne mane	Dopušteno, ukupne duljine do 40 mm i maksimalne pojedinačne duljine do 15 mm. U rubnoj zoni pojedinačne duljine do 20 mm	Dopušteno, ukupne duljine do 45 mm i maksimalne pojedinačne duljine do 15 mm. U rubnoj zoni pojedinačne duljine do 20 mm	Dopušteno, ukupne duljine do 50 mm i maksimalne pojedinačne duljine do 15 mm. U rubnoj zoni pojedinačne duljine do 20 mm
5	Mane na rubovima	Zatupljen rub (skinuti sloj) – dopuštaju se mali odlomci pod uvjetom da rub nije oštar, područja koja se sjaje – dopušteno Brušen rub (s područjima koja se sjaje) – skošen zatupljen rub s ravnim čelom ili brušen – nepotpuno brušen (s područjima koja se sjaje) – dopušteno Izglađen brušen rub (bez sjajnih zona) – brušen rub – odlomci, nepotpuno brušen (sjajne zone) - nedozvoljeno Ispoliran rub – poliran rub – matirana mjesta, odlomci – nedozvoljeno		
6	Mrlje, šare	Dopušteno ukoliko nisu vidljive s udaljenosti propisane odgovarajućim standardom za danu vrstu stakla na dnevnom svjetlu.		
7	Mane nanesenog keramičkog emajla:	U skladu s točkom 3.2 – II. dijela Tvorničkog standarda		